

JEMEA 進歩賞受賞記念



無機材料精密設計によるマイクロ波誘起熱的非平衡状態の化学応用

Chemical Applications of Microwave-Induced Thermal Nonequilibrium by Precise Design of Inorganic Materials

東京電機大学工学部応用化学科 望月 大
Tokyo Denki University, Dai Mochizuki
〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番,
e-mail: daim@mail.dendai.ac.jp

1. はじめに

この度は「無機材料精密設計によるマイクロ波誘起熱的非平衡状態の化学応用」という題目で日本電磁波エネルギー応用学会の進歩賞の栄誉を賜りました。今回の受賞に際し、多くの方々にご支援を賜っておりますが、特に東京工業大学和田雄二教授に誠に感謝申し上げます。和田教授からは、私がマイクロ波を利用した電磁波エネルギー研究を始めるきっかけを与えて頂きました。マイクロ波の研究を始めたときから「熱とは何か」、「エネルギーとは何か」また「温度とは何か」など長い時間をかけて自問自答し、ほかの皆様と熱い議論をかわすことができました。まだ、その答えはすべて解決できていない部分も多くあります。博士課程を修了した後、研究者として未知で有用な新たな研究テーマを持た喜びとともに、私の中の疑問を解決することが電磁波エネルギー応用の社会実装に役立てるよう今後ともマイクロ波研究を進めていきたいと思っております。

本稿では、これまでの研究成果を受賞公演内容としてまとめます。

2. マイクロ波を利用した初めての化学反応

マイクロ波の研究を初めて触れたのは、2005年にまだ博士課程でありましたが、韓国 Inha 大学 Sang Eon Park 教授との共同研究でした。このころのマイクロ波に関する知識は、全くなく韓国に実験をしに行った際に電子レンジを改造した装置を見て、「マイクロ波＝電子レンジ」と認識したのを覚えております。またその当時の認識ではマイクロ波を使えば、なんでも化学反応が劇的に速くなるということだけでした。通常1か月かかるケイ酸塩の水熱合成を1日で終わらせることができるのではないかと夢見て行ったのが今でも思い出されます。しかし、合成実験は中々うまくいかず、二週間の滞在でほとんどデータを得ることができませんでした。今思い返すと、マイクロ波の特性をしっかりと理解していれば、より深い議論ができ、また実験方針も違ったものになったかと思えます。ただその中で新しい化学プロセスの可能性を感じておりました。

3. マイクロ波を利用した熱的非平衡状態

2007年に東京工業大学応用化学科和田研究室に助教として着任し、多くの学生・スタッフとともにマイクロ波を利用した化学反応を研究してまいりました。そ

の中で私は熱とは何なのかという部分に多くの時間をかけて考えを巡らせておりました。というのも、「マイクロ波ならではの化学反応」を行うためには、「通常の加熱」ではできないような反応を見出す必要があると考えていたからであります。何度も学生と一緒に議論を進めましたが、なかなか自分の考えとしての「マイクロ波ならではの化学反応」にたどり着くことができず、苦勞しておりました。その中で、熱的に非平衡であるという点に関しては、すんなりと自分の中で受け入れることができましたので、そこを強調した研究を進めていこうと考えました。

熱的に非平衡とは、系内に温度分布があると私は考えました。これは、通常の化学反応ではフラスコ内を十分に攪拌し、温度分布をなくした状態を想定していますが、この想定を覆す化学反応に対する新たな着想だと考えたのです。この熱的非平衡という考え方はすでに提唱されていましたが、その具体例をより多く実証することが重要だと感じました。また、実際に電子レンジで加熱すると牛乳は熱くなるのに、コップは熱くないという例がとても身近に感じておりました。そして、コップのようなセラミックス（無機材料）と牛乳のような液体で熱的な非平衡を積極的に活用できる反応系を模索していきました。

その第一例として、コアシェル金属ナノ粒子の作製を行いました。これは、コア金属のマイクロ波の物質選択的加熱により発生する“熱的非平衡”現象を利用しており、マイクロ波ならではの手法であります。得られたコアシェルナノ粒子は、酸化耐性が向上していることが確認され、マイクロ波の熱的非平衡状態により合成されたナノ構造体が、新たな物性を発現させるのに有効なことを示しています。

次にマイクロ波照射による化学反応の促進を検証するため、溶液全体の正確な温度測定に基づいた固体表面での熱的非平衡を検討しました。磁場では、液体は一般的にマイクロ波では加熱されにくいのにに対し、磁性材料は、急速に加熱されます。すなわち、液体と磁性固体との界面では、熱的非平衡状態がより顕著に形成されると予測しました。そして、磁性固体として鉄粒子に着目し、マイクロ波シングルモード照射装置を用い、磁場加熱による熱的非平衡について検証しました。

磁場照射下での反応の転化率の大幅に増加し、マイクロ波加熱による熱的非平衡状態が反応を促進することが確認できました。

上記結果に基づいて、マイクロ波照射により、固体-液体といった不均一系反応におけるマイクロ波の熱的非平衡に着目し、カーボン充填ゼオライトコアとゼオライトシェルから成る新規コアシェル型酸触媒を合成した。カーボンはゼオライトに比べ優れたマイクロ波吸収体であるため、本触媒はマイクロ波照射下でコアのみが発熱する熱的非平衡状態を形成することができると思われ、コアを取り囲むシェルが周辺溶媒に比べ高温になり、反応促進効果が期待できると考えたのです。有機化合物の脱水反応について通常加熱とマイクロ波加熱それぞれの比較を行うと、通常ゼオライトにおいては加熱方法による差がほぼ見られないのに対し、コアシェルゼオライトにおいては通常加熱に比べマイクロ波加熱における反応速度が大きく上昇しました。これはコアシェルゼオライトのコア細孔内に存在するカーボンがマイクロ波を選択的に吸収し、反応場シェルの温度が反応溶液全体の測定温度よりも高くなっているすなわち熱的非平衡状態が、反応速度の向上につながっていることが明確に示された反応です。

4. 今後の展望

2018年より東京電機大学に異動し、マイクロ波による熱的非平衡を利用した高温無機材料プロセスの開発に注力しております。今後、日本電磁波エネルギー応用学会の発表の場で多くの研究成果を発信し、さらなる進歩をしていきたいと思っております。